



Fra malthusiansk stagnation til moderne vækst

Weisdorf, Jacob

Publication date:
2002

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Weisdorf, J. (2002). *Fra malthusiansk stagnation til moderne vækst*. Økonomisk institut, Københavns Universitet.

Blå Memoserie
Økonomisk Institut
Københavns Universitet

Nr. 206 / februar 2002

Fra malthusiansk stagnation til moderne vækst

Jacob Weisdorf

Stu­di­es­træ­de 6, 1455 Kø­ben­havn K
Tel 35 32 30 82 - Fax 35 32 30 00
<http://www.econ.ku.dk>

ISSN: 0107-3664 (print) ISSN: 1601-247X (online)

Fra malthusiansk stagnation til moderne vækst

Jacob Weisdorf* University of Copenhagen

September 4, 2001

Abstract

This paper studies the economic and demographic course of a Western economy in the very long run. An endogenous growth model, extending work of Galor and Weil (AER, 2000), is presented. In the model of Galor and Weil, population growth associated with the Demographic Transition arises due to increasing fertility—a feature that is somewhat in contrast with empiry. In addition to their framework, we therefore introduce a measurement of childhood mortality which is allowed to vary inversely with standards of living of the parents. Moreover, we apply the idea that structural changes prior to the Industrial Revolution improved the use of technology in output production enough to reverse returns-to-scale from decreasing into increasing. We illustrate how a one-off shift in the intensity of technology can trigger a demographic transition where first mortality and since fertility declines, simultaneously transforming thousands of years of economic stagnation into sustained economic growth.

Keywords: demographic transition, very long-run growth, education, fertility, human capital, mortality, technological progress, population trap.

Denne artikel bygger på mit speciale fra Økonomistudiet ved Københavns Universitet; der skal i den forbindelse rettes en tak til min vejleder lektor Christian Groth. Også en tak til Carl-Johan Dalgaard, KarlGunnar Persson og Mich Tvede for konstruktive indvendinger. Kommentarer og rettelser er meget velkomne; e-mail: <jacob.weisdorf@econ.ku.dk>.

1. Introduktion

Gennem langt størstedelen af menneskets historie har befolkningen og dens levelfod i store træk holdt sig på et konstant niveau. Fra tid til anden har teknologisk fremgang ganske vist tilladt en større population, men ikke rokket væsentligt ved levelfoden. Forandringer af strukturel og institutionel karakter forud for den industrielle revolution synes at springe rammerne for dette 'malthusianske' udviklingsmønster, og i kølvandet herpå eskalerer levelfoden i den vestlige verden voldsomt: siden 1820 er produktionen pr. indbygger mere end 13-doblet.¹

I hælene på industrialiseringen følger en voldsom stigning i befolkningsvæksten, og siden et markant fald; to begivenheder, der samles under betegnelsen 'den demografiske transition'. Inden for de seneste 200 år er den forventede levetid i den vestlige verden mere end fordoblet; det er med baggrund heri, stigningen i befolkningsvæksten finder sted. Det efterfølgende fald i befolkningsvæksten skyldes aftagende fertilitet; på mindre end 100 år falder fødselstallet i den vestlige verdens samfund til det halve.

Hvad er årsagen til dette dramatiske udviklingsforløb? En række nyere bidrag inden for økonomisk vækstteori tilsigter at afdække begivenhedernes gang. Blandt disse kan nævnes Goodfriend & McDermott (1995), Jones (2000), Lucas (1998), Tamura (1999) og Galor & Weil (2000). Modellen i denne artikel bygger på disse bidrag (navnlig sidstnævnte), men afviger ved at inddrage både teknologi, humankapital, uddannelse, fertilitet og dødelighed i én og samme fremstilling. Idéen er at opstille og analysere en model, der er konsistent med de tre udviklingsfaser, den vestlige verden har gennemgået, siden den agrare produktionsform vandt indpas for godt 10.000 år siden: 1) en langvarig, 'malthusiansk' landbrugsfase med lav og stagnerende levelfod samt beskeden befolkningsvækst, 2) en 'post-malthusiansk' industrialiseringsfase med positiv og stigende vækst i såvel levelfod som befolkning, og endelig 3) en 'moderne vækst' fase, hvor befolkningsvæksten bremser op, mens levelfoden fortsat stiger.

Nedenfor opridses en række økonomiske og demografiske udviklingstendenser for en moderne, industrialiseret økonomi (afsnit 2); så forklares modellen (afsnit 3), udviklingen analyseres (afsnit 4) og sluttelig konkluderes (afsnit 5).

¹Ifølge Madisson (1982) gælder dette Vesteuropa, Australien, Canada, Japan og USA.

2. Økonomiske og demografiske udviklingstendenser

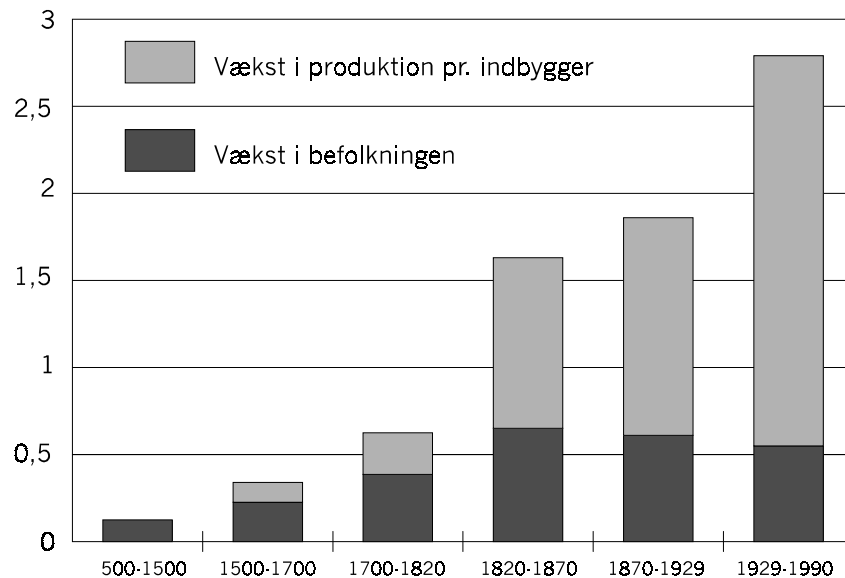
Man mener at kunne fastlægge menneskets udskilning fra de nærmeste primater som en begivenhed, der finder sted for omkring 6 millioner år siden (Jensen, 1996, s. 139ff). De ældste menneskeskabte redskaber dateres ca. 2,4 millioner år tilbage i tiden. Den agrare revolution, i anledning af hvilken opdyrkning af land og husdyrhold vinder indpas, forekommer for godt og vel 10.000 år siden. Hvis man forestiller sig, at en distance på 100 meter udgør tidslinjen for menneskets historie, dukker de første redskaber altså op omkring 60 meter fra start; den agrare revolution placerer sig godt 16 cm inden målstregen, mens den industrielle revolution befinder sig blot en tredjedel centimeter – omtrent 3 millimeter – før mållinjen.

Så sent som i det 19. årh. lever Tasmaniens oprindelige befolkning endnu i et primitivt jæger-samler samfund (*ibid.*, s. 255); deres teknologiske niveau repræsenteres af trækøller, spyd og simple stenredskaber. Skønt tasmaniernes teknologi er langt mere kompleks end f.eks. chimpansens, er den uhyre rudimentær set med vore øjne. Dette vidner om, at det teknologiske stade, der omgiver os i dag, er opnået inden for en brøkdel af menneskets historie.

Siden den industrielle revolution er levefoden i den vestlige verden vokset dramatisk. Så meget, at den velstandsforbedring, der er sket siden den agrare revolution, i lyset heraf må betegnes som forsvindende lille. Mængden af statistisk materiale inden for denne tidsepoke er naturligvis overordentlig sparsom. Ikke desto mindre får man et vink om forholdene blot ved at iagttage udviklingen de seneste 1.500 år. Betragt figur 2.1 på næste side. Med produktion pr. indbygger som mål for levefod afslører figuren to tendenser, der er væsentlige at fremhæve: For det første er der ingen vækst i levefoden de første 1.000 år af den betragtede periode; dette afløses af en positiv vækstrate, der stiger gevaldigt frem til i dag. For det andet er befolkningsvæksten, der er positiv gennem hele forløbet, markant stigende frem til perioden 1820-1870; herefter vender udviklingen, og befolkningsvæksten aftager frem mod 1990. Befolkningsvækstens bevægelsesmønster – det omvendte U – stemmer i øvrigt godt overens med signalementet af den demografiske transition, der står som et vartegn for udviklingsforløbet i den vestlige verden.

²Tal for årene 500-1820 stammer fra Maddison (1982, tabel 1.2) og gælder hele Europa; tal for perioden 1820-1990 er beregnet ud fra Maddison (1995, tabel G) og omhandler kun Vesteuropa. Periodeopdelingen er mage til inddelingen hos Galor & Weil (1999).

Figure 2.1: Procentvise årlige vækstrater i Europa over perioden år 500-1990²



I de første 1.000-1.200 år af den betragtede periode vokser befolkningen med forholdsvis beskeden hast. Samtidig er levefoden stort set uforandret. Dette minder om et 'malthusiansk' udviklingsmønster, hvor teknologisk fremgang resulterer i befolkningsvækst snarere end vækst i levefoden. Mønstret kan beskrives som følger:

Skønt landbrugssamfundets fertilitetsniveau er højt set med nutidens øjne, holder høj dødelighed det meste af tiden befolkningen i skak. Bortset fra inddragelsen af ikke tidligere opdyrket jord, er det primært fremkomsten af ny teknologi, der skaber basis for en produktionsstigning. Den levefodsforbedring, en sådan produktionsstigning bringer med sig, reflekteres i en faldende dødelighed. Da især børnedødeligheden er høj, mærkes dødelighedsfaldet særlig i de yngste aldersklasser. Og eftersom flere med tiden når en fødedygtig alder, er resultatet af teknologisk fremgang, at befolkningen på lidt længere sigt vokser. Omvendt har befolkningsvækst muligvis haft positiv indflydelse på fremkomsten af ny teknologi – enten grundet muligheden for arbejdsdeling og specialisering, eller fordi flere mennesker alt andet lige får flere nye idéer. Men i den agrare økonomi er teknologisk fremgang tilsyneladende ikke i stand til at ophæve den nedgang i produktion pr. indbygger, der opstår som konsekvens af en voksende befolkning. Årsagen er tendensen til aftagende marginalproduktivitet, som skyldes begrænsede ressourcer, f.eks. jord. Befolkningsvækst reducerer derfor produktionen pr. indbygger og nedbringer at-

ter levefoden; dødeligheden tiltager på ny, og grundlaget for fortsat befolkningsvækst smuldrer – helt i tråd med Malthus' (1798) befolkningsmodel.

Sjovt nok er det netop i årene omkring Malthus' 1798-udgivelse, at økonomien begynder at afvige fra dette årtusinder gamle mønster. En væsentlig årsag er givetvis de strukturelle og institutionelle forandringer, der finder sted i tiden frem til den begivenhed, der i dag kendes som den industrielle revolution (se bl.a. Craft, 1996). I England, og efterfølgende flere steder i Europa, kom navnlig den såkaldte *enclosure movement*, der tog fart fra midten af det 16. årh., til at spille en central rolle for landbrugets produktivitsfremgang (Craig & Fisher, 2000, s. 49).

Noget lignende gør sig gældende i Danmark. Her forekommer Landboreformerne – via opløsning af Stavnsbåndet, udskiftning, udflytning og øget selveje – at optræde som 'kickstarter' for industrialiseringsprocessen (Hansen, 1984, s. 79-80). Konsekvensen af den agrare omlægning i Danmark er i al fald en fordobling af landbrugets produktion i perioden 1770-1800! Dette har utvivlsomt medvirket til frigørelse af den arbejdskraft, industriel udvikling fordrer. Men væsentligt i denne sammenhæng er det, at strukturelle og institutionelle forandringer kan skabe grundlag for en mere effektiv udnyttelse af den tilstedeværende teknologi.³

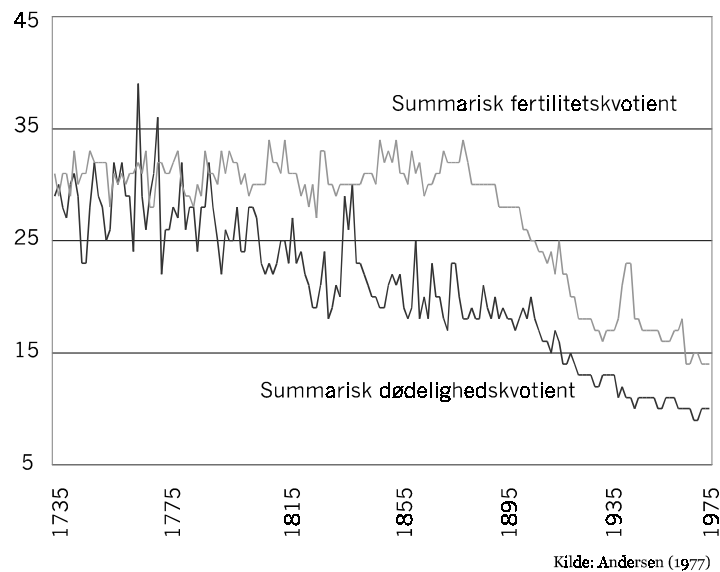
Den industrielle revolution markerer begyndelsen på den vestlige verdens økonomiske vækst. I de tidligste faser af industrialiseringen har de økonomiske og demografiske mekanismer dog lighedspunkter med fortiden. Befolkningsvækst følger nemlig fortsat i hælene på en stærkt voksende produktion. Men det lykkes på ingen måde befolkningstilgangen, som tidligere, at bringe væksten i produktion pr. indbygger til ophør — snarere tværtimod: som figur 2.1 antyder, er der nærmere tegn på, at arbejderens grænseproduktivitet nu vokser frem for at aftage i takt med den tilkomne befolkning.

Befolkningstilgangen er stadigvæk resultat af en aftagende dødelighed. Denne finder sted i trit med de levefodsforbedringer, der i denne periode ledsages af produktionens vækst. Dødelighedsfaldet, der i det følgende omtales som den 'mortale revolution', fortsætter næsten helt frem til i dag.⁴ Udviklingen i dødeligheden kan aflæses på baggrund

³Lucas (1998, kap. 3) viser formelt, hvordan et skift fra fælles til privat ejendomsret kan øge levefoden, uden nogen form for teknologisk forandring.

⁴Bemærk, at afsættet for den mortale revolution finder sted langt tidligere end den medicinske revolution (Dudley, 1996, s. 367-68). Dødelighedsfaldet skyldes således indledningsvist bedre ernærings- og sundhedsforhold, som følge af den stigende produktion. Siden har medicinske og andre former for

Figure 2.2: Den demografiske transition i Danmark



af mål for den forventede levetid. I England, industrialiseringens foregangsland, er midlelleveiden for en nyfødt år 1800 omtrent 37 år for mænd. Denne er i år 1900 steget til 48 år, og ligger i dag på godt 74 år (Kalemli *et al.*, 1998, s. 1 samt Bos *et al.*, 1999, tabel 9). Den forventede levetid for en nyfødt er altså fordoblet over de seneste 200 år. Forløbet er mægtigt i andre vestlige økonomier (Easterlin, 1995). Dødelighedsfaldet i Danmark afslører sig i figur 2.2 nedenfor. Den mortale revolution indledes i det danske tilfælde hen mod slutningen af det 18. årh.

I takt med industrisamfundets teknologiske fremgang vokser uddannelsestiden. I England er det gnsntl. antal skoleår for årgangene født i starten af det 19. årh. 2,3. For årgangene født 100 år senere, dvs. i begyndelsen af det 20. årh., er tallet 9,1 (Kalemli *et al.*, 1998, s. 1). Voksende uddannelsestid synes at dæmpe fødselstallet, fordi barnets opfostringsomkostninger dermed stiger. Længere uddannelsestid må derfor givetvis bære sin del af ansvaret for endnu en bemærkelsesværdig hændelse, der præger den historiske udvikling: et markant fertilitetsfald, kendt under betegnelsen den 'fertile revolution'. Den summariske fertilitetskvotient i England, der i år 1850 ligger på godt 34 børn pr. 1.000 indbygger, er i år 1900 faldet til 28. Halvtreds år senere er tallet helt nede omkring 15 (Mitchell, 1992, tabel A6). Fødselstallet er altså mere end halveret i løbet af 100 år.

sundhedsteknologiske fremskridt naturligvis gjort deres til at holde den aftagende dødelighed i hævd.

Dette mønster er symptomatisk for flere vestlige økonomier (*ibid.*). I Danmark indledes fertilitetsfaldet i slutningen af 1800-tallet (se figur 2.2). Den fertile afmatning sætter altså ind ca. 100 år efter afsættet for den mortale revolution.⁵ Det er en mærkværdighed, men en udtalt tendens også internationalt (f.eks. Coale, 1987), at fertiliteten – trods det voldsomme fald i dødeligheden – fortsat bevarer samme høje niveau gennem et helt århundrede, inden den fertile revolution indfinder sig.⁶

Tilsammen udgør den mortale og den fertile revolution elementerne i den demografiske transition. I stiliseret form vil fødsels- og dødsraterne ved transitionens start befinde sig på samme høje niveau, mens disse afslutningsvis ligger på samme lave stade. Den tidsmæssige forskydning mellem faldet i dødelighed og fertilitet indebærer således at befolkningen vokser. Figur 2.2 gengiver den demografiske transition i Danmark.

Skarpt tegnet op kan overgangen fra fortidig stagnation til nutidig vækst opsummeres på følgende vis. I landbrugssamfundet er levefoden nærmest konstant; befolkningen vokser i et beskedent tempo; fertilitetsniveauet er højt, dødeligheden ligeså; teknologien udvikles langsomt, og der er intet væsentligt uddannelsesbehov. Institutionelle og strukturelle forandringer forud for den industrielle revolution leder til en bedre udnyttelse af den tilstedeværende teknologi; på denne baggrund dannes grundlag for vækst i levefoden; parallelt med levefodsforbedringerne reduceres dødeligheden; dette indleder den demografiske transition, og befolkningsvækstraten stiger drastisk. Industrialiseringens teknologiske fremgang skaber et stadig større behov for uddannelse, og derfor en voksende uddannelsestid; længere uddannelsestid står givetvis i ledtog med det fertilitetsfald, der indtræffer i løbet af industrialiseringsprocessen; trods fortsat vækst i levefoden bremser befolkningsvæksten derfor op; efterhånden fuldbyrdes den demografiske transition, og økonomien bringes ind på det spor med vedvarende økonomisk vækst, der i dag kender tegner den vestlige verdens samfund.

⁵Fertilitetsfaldet i Danmark påbegyndes således i den tid, hvor industrialiseringen for alvor har fat (ifølge Andersen, 1977, s. 128 fra midten af 1890'erne).

⁶Det skal understreges, at den fertile revolution indledes førend svangerskabsforbyggende midler bliver alment kendt; i stedet anvendes *coitus interruptus* (Andersen, 1977, s. 131 samt Coale, 1987, s. 794). Indførelsen af præventive midler har naturligvis siden hen afhjulpet ønsket om en reduktion i fertiliteten, og er måske endda netop opstået grundet stigende efterspørgsel.

3. Modellen

I det følgende opstilles en endogen vækstmodel, hvis formål er at forklare det skitserede økonomiske og demografiske udviklingsforløb.

Introduktion til modellen I mikrobaserede makromodeller benytter man somme tider et 'overlappende generations' eller OLG-setup. Navnet afslører idéen: to eller flere generationer er tilstede på samme tid og kan derfor agere indbyrdes. Levetiden for det enkelte individ er endelig, opgjort i et givet antal leveperioder, og individets adfærd afhænger typisk af, i hvilken leveperiode individet befinder sig. Antallet af individer er endeligt inden for den enkelte generation, men dateringen løber i det uendelige. OLG-strukturen anvendes ofte med henblik på at belyse opsparingsadfærd, arvemotiver eller (som i dette tilfælde) udvikling i levfod og velfærd.

Befolkningsvækst er modellens drivkraft og årsag til bevægelser i levfoden. En større befolkning påvirker levfoden i to retninger. På den ene side er en større befolkning årsag til en højere levfod. Forklaringen er, at flere individer alt andet lige får flere nye idéer; nye idéer udgør grundlaget for ny teknologi, der isoleret set øger levfoden. På den anden side vil en større befolkning reducere levfoden. Årsagen hertil er arbejdskraftens aftagende grænseproduktivitet, der skyldes, at mængden af jord er konstant. Udvikling i levfoden er derfor resultat af et kapløb mellem teknologisk fremgang og arbejdskraftens aftagede grænseproduktivitet. Udfaldet afhænger af, hvor effektivt teknologi indgår i produktion af output. Teknologiens effektivitet er udtrykt ved en parameter kaldet δ [delta]. Størrelsen δ angiver den relative ændringer i output ved en relativ ændring i det teknologiske niveau (også kaldet produktionens elasticitet mht. teknologi). Er δ tilstrækkelig lav, vil en større befolkning alt andet lige reducere levfoden. Og da en lavere levfod i modellen øger dødeligheden, er det økonomiske system dermed fanget i en 'malthusiansk' befolkningsfælde. Er omvendt δ tilstrækkelig stor, vil en større befolkning øge levfoden. I så fald nedbringes dødeligheden, og økonomien kan undslippe befolkningsfælden. Et skifte i δ kan derfor 'vende' dynamikken om og lægge grunden til den mortale revolution.

Hvad udløser da den fertile revolution? Her skal man betragte individets arbejds effektivitet. Arbejdseffektiviteten måles som enheder af individuel humankapital. Tanken er, at ny teknologi 'eroderer' værdien af individuel humankapital (gør den 'forældet'), mens uddannelse modarbejder denne effekt (gør den 'opdaterer'). Jo hurtigere ny teknologi

kommer til, desto mere uddannelse må forældre udruste afkommet med. Men uddannelse øger barnets opfostringsomkostninger. Som forældrenes præferencer er indrettet, vil de foretage en afvejning mellem *mange* børn *uden* uddannelse og *få* børn *med*. Jo hurtigere ny teknologi oprinder, des færre børn kommer derfor til verden. Teknologisk fremgang optræder således som den bagvedliggende årsag til den fertile revolution.

Nedenfor gennemgås modellen mere formelt. Indledningsvis beskrives produktion af output samt fremkomsten af ny teknologi; herefter skildres den enkelte agents adfærd, og endelig klarlægges modellens dynamik.

3.1. Produktion af varer og teknisk viden

Betragt en tre-perioder OLG-model for en lille, åben økonomi, karakteriseret ved fuldkommen konkurrence. Der produceres én homogen varetype, som anvendes til forbrug eller investering. Til produktion benyttes fysisk kapital, humankapital, jord og teknologi. Antag, at produktionsfunktionen kan skrives som

$$Y_t = A_t^v K_t^\alpha H_t^{(1-\alpha)\beta} X_t^{(1-\alpha)(1-\beta)}, \quad (3.1)$$

hvor $(\alpha, \beta) \in (0; 1)$. De rivaliserende input – fysisk kapital, K_t , humankapital, H_t , og jord, X_t – har således positiv, men aftagende grænseproduktivitet. Skalaafkastet i de rivaliserende input er konstant.

Det teknologiske niveau, A_t , udtrykker økonomiens akkumulerede viden. Teknologi er et ikke-rivaliserende, ikke-ekskludérbart input; ny viden antages nemlig at være et biprodukt af produktionsaktivitet og kan uden videre indgå i al produktion uden at skulle genopfindes. Hverken tilstedeværende eller ny viden skal derfor aflønnes, hvorfor det kan tillades, at $v > 0$.

Arbejdsstyrken består af L_t identiske arbejdere, der hver udbyder h_t enheder individuel humankapital i arbejdstiden a_t . Økonomiens samlede humankapital, H_t , må folgelig være $a_t h_t L_t$. Betegnes aflønning pr. enhed samlet humankapital med symbolet w_t , er den enkelte arbejders indkomst således $a_t w_t h_t$.

Marked for fysisk kapital antages at være perfekt, og der er fri kapitalmobilitet.⁷ I en lille, åben økonomi svarer det indenlandske renteniveau, r_t , derfor til den eksogene

⁷I betragtning af modellens tidshorisont er det temmelig tvivlsomt, hvorvidt denne antagelse afspejler virkeligheden. Formålet er dog udelukkende at gøre modellen håndtérbar.

verdensrente \bar{r} . Under fuldkommen konkurrence installeres fysisk kapital således indtil dennes grænseprodukt svarer til verdensrenten. Indsættes den optimale mængde fysisk kapital i (3.1), kan produktionsfunktionen skrives som

$$Y_t \equiv \rho A_t^\delta H_t^\beta, \quad (3.2)$$

hvor mængden af jord samtidig betragtes som konstant (normeret til 1).⁸ Desuden er størrelserne $\rho \equiv (\alpha/\bar{r})^{\alpha/1-\alpha} > 0$ og $\delta \equiv v/1 - \alpha > 0$. Skalaafkastet af de resterende akkumulérbare input – humankapital og teknologi – kan både være voksende, konstant og aftagende, afhængigt af summen af δ og β . Produktionen pr. arbejder – kaldet levefoden – er da

$$y_t \equiv \frac{Y_t}{L_t} = \rho \frac{A_t^\delta (a_t h_t)^\beta}{L_t^{1-\beta}}. \quad (3.3)$$

Det ses, at levefoden er en voksende funktion af arbejdstiden, af mængden af individuel humankapital og af det teknologiske niveau; samtidig er levefoden en aftagende funktion af arbejdsstyrken.

Fremkomsten af teknisk viden I beskrivelsen af teknologisk fremgang følger modellen princippet hos Jones (1995), hvor ethvert individ i forskningssektoren med en vis hyppighed komme på nye idéer; flere forskere producerer derfor alt andet lige mere ny viden pr. tid, hvilket øger den teknologiske tilgang fra én periode til den næste. Her antages – i en modificeret version – at antallet af nye idéer er en voksende funktion af arbejdsstyrken. Endvidere antages teknologi i sig selv at have betydning for idé-hyppigheden, således at et højere teknologisk niveau letter fremkomsten af nye idéer. Tilgangen af ny viden mellem to perioder kan herefter skrives som

$$A_{t+1} - A_t = \kappa L_t^\psi A_t^\theta,$$

hvor $\kappa > 0$. Det forudsættes, at $\psi \in (0; 1)$: jo flere arbejdere sænker idé-hyppigheden per arbejder, fordi konkurrencen skærpes. Endvidere antages, at $\theta \in (0; 1)$, så den idé-tilgang, som mere teknologi medfører, aftager, jo mere viden der er tilstede. Bemærk, at skalaafkastet i forbindelse med frembringelse af viden kan være voksende, konstant og aftagende, afhængigt af summen af ψ og θ . Den teknologiske fremskridtsrate bliver

⁸Opsparing kan placeres i fysisk kapital eller jord; prisen på jord må derfor indstille sig, så afkastet heraf svarer til afkastet af fysisk kapital.

herefter

$$g_t \equiv \frac{A_{t+1} - A_t}{A_t} = \kappa \frac{L_t^\psi}{A_t^{1-\theta}}. \quad (3.4)$$

Fremskridtsraten er altså en voksende funktion af arbejdsstyrken og en aftagende funktion af det teknologiske niveau.

Overgangen fra landbrug til industri Modellen ønsker at fange det forhold, at strukturelle og institutionelle forandringer kan lede til en bedre udnyttelse af den tilstedeværende teknologi. Dette fænomen kan fremstilles på en simple måde. Vi antager blot, at samfundet på et givet tidspunkt i historien har akkumuleret den viden, der kræves for at gennemføre disse forandringer. Som hos Azariadis & Drazen (1990) indbygges derfor en eksternalitet med tærskelegenskab. Det teknologiske niveau, A_t , antages at have et kritisk niveau, \tilde{A} , hvorved der sker et spring i produktionens elasticitet mht. teknisk viden. Antag, at parameteren v skifter, således, at der om parameteren $\delta \equiv v/1 - \alpha$ (efter tilpasning af kapitalmængden) gælder, at

$$\delta_t = \begin{cases} \delta^l, & \text{hvis } A_t \leq \tilde{A} \\ \delta^h, & \text{hvis } A_t > \tilde{A}, \end{cases} \quad (3.5)$$

hvor $\delta^h > \delta^l > 0$.⁹ Betragt i forlængelse heraf antagelsen, at

$$0 < \frac{\psi}{1-\theta} \frac{\delta^l - \beta}{1-\beta} < 1 < \frac{\psi}{1-\theta} \frac{\delta^h - \beta}{1-\beta}. \quad (A1)$$

Antagelse (A1) sørger implicit for, at skalaafkastet af akkumulérbare input ved produktion af output og viden tilsammen er aftagende, når $\delta_t = \delta^l$, men voksende, når $\delta_t = \delta^h$.¹⁰

3.2. Den enkelte agent

Mikrofundamentet nedenfor er en variation af fremstillingen hos Galor & Weil (2000), hvortil der desuden føjes en endogen dødsrisiko. Målet er at afklare, hvad der afgør størrelserne fertilitet, dødelighed og befolkningsvækst.

⁹Tærsklen \tilde{A} bør strengt taget normeres til 1, hvorved spring i produktionens niveau undgås.

¹⁰En sådan modellering af strukturelle forandringer forekommer pseudo-endogen. Ikke desto mindre fanger den et vigtigt forhold, nemlig at blot en svag forbedring i udnyttelsen af den tilstedeværende teknologi kan forårsage væsentlige skred i de økonomiske og demografiske udviklingstendenser.

Modellens individer antages maksimalt at leve tre perioder: barndom samt muligvis voksenliv og alderdom. I barndommen har individet to formål: at overleve indtil indtræden i voksenlivet samt eventuelt at uddanne sig, beroende på en beslutning truffet af barnets forældre.

Betragt et individ, født på tidspunkt $t - 1$, som har overlevet barndommen; et sådant individ betegnes i anden leveperiode individ t . I anden leveperiode tildeles individ t én enhed tid; denne tidsenhed fordeles mellem arbejde og opfostring af børn. Opfostring gør krav på tidsandelen $\tau^b \in (0, 1)$ pr. barn. Skal barnet derudover uddannes, kræves der afsat tidsandelen $\tau^e \in (0, 1)$ pr. uddannelsesstrin pr. barn.¹¹ Betegnes antallet af uddannelsesstrin (kaldet uddannelsesniveaue) med symbolet e_{t+1} , er opfostringstiden pr. barn $\tau^b + \tau^e e_{t+1}$.

Individ t vælger antallet af børn, b_t , samt disses uddannelsesniveau. Den samlede opfostringstid er da $b_t (\tau^b + \tau^e e_{t+1})$. Resten af tidsenheden anvendes til arbejde. Arbejdstiden $a_t = 1 - b_t (\tau^b + \tau^e e_{t+1})$, og individ t er bemidlet med h_t enheder individuel humankapital. Indkomsten fra arbejdet, $a_t w_t h_t$, tilsidesættes som opsparing med henblik på forbrug i alderdommen.¹² Opsparing forrentes med afkastet \bar{r} . I tredje leveperiode går individet på pension, og forbruget er derfor

$$c_{t+1} = (1 + \bar{r}) \left(1 - b_t (\tau^b + \tau^e e_{t+1}) \right) w_t h_t. \quad (3.6)$$

Dødeligheden og antallet af overlevende børn Det er usikkert, hvorvidt afkommet indtræder i voksenlivet. Dødsrisikoen afhænger af forældrenes levestandard, og dødelighedsmålet skrives derfor $d_t = d(y_t)$. Det antages, at $(-d_y, d_{yy}) > 0$, således at dødeligheden er en aftagende, strengt konveks funktion af levestandarden. Desuden tillægges dødelighedsfunktionen egenskaberne, at $\lim_{y_t \rightarrow 0} d_t = 1$ og at $\lim_{y_t \rightarrow \infty} d_t = 0$: uden nogen form for levestandard indtræffer døden med sikkerhed, mens dødsrisikoen omvendt bortfalder, når levestandarden nærmer sig uendelig. Det forventede antal overlevende børn kan skrives som

$$n_t = b_t (1 - d_t). \quad (3.7)$$

¹¹Man må her, som hos Galor & Weil (2000), forestille sig, at forældre selv varetager uddannelse af afkommet.

¹²Det er teoretisk muligt at flytte en del af forbruget fra tredje til anden leveperiode; dette vil dog komplicere udregningerne væsentligt og næppe ændre de kvalitative resultater.

Størrelsen n_t er altså de af individ t 's b_t børn, der overlever barndommen og siden indgår i arbejdsstyrken.

Dannelse af individuel humankapital Afkommet antages altid – f.eks. ved observation – at kunne tilegne sig forældrenes humankapitalniveau. I fravær af teknologisk fremgang, og uden nogen form for egentlig uddannelse, besidder afkommet derfor netop et niveau svarende til forældrenes. Ny teknologi er til gengæld ukendt for både afkommet og dets forældre. Tilegnelse af ny teknologi i arbejdstiden nedsætter alt andet lige arbejds effektiviteten.¹³ Jo mere ny teknologi, der opstår mellem to generationer, des mere forringes værdien af barnets humankapital i forhold til forældrenes. Barnets humankapital er derfor en aftagende funktion af den teknologiske fremskridtsrate.¹⁴ Forældre kan dog vælge at udruste afkommet med uddannelse. Uddannelse letter tilegnelsen af ny teknologi, og kompenserer derved for teknologiens erosion af humankapitalen. Afkomets humankapital antages således at være en voksende funktion af uddannelsesniveauet. Humankapitalen for et individ $t + 1$ kan herefter skrives på formen

$$h_{t+1} = \eta(e_{t+1}, g_t) h_t, \quad (3.8)$$

hvor der for $(e_{t+1}, g_t) \geq 0$ antages om η -funktionen, at

$$\begin{aligned} \eta_e &> 0; & \eta_g &< 0; & \eta &> 0; & \eta(0, 0) &= 1; \\ \eta_{ee} &< 0; & \eta_{gg} &> 0; & \eta_{eg} &> 0; & \lim_{g_t \rightarrow \infty} \eta(0, g_t) &= 0. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Følgelig er η -funktionen – og derfor humankapitalen – en voksende, strengt konkav funktion af e_{t+1} og en aftagende, strengt konveks funktion af g_t .

Nyttmaksimeringsproblemet Individ t antages at opnå nytte dels af eget forbrug i alderdommen, c_{t+1} , dels af overlevende børns potentielle indkomst, $w_{t+1}h_{t+1}n_t$.¹⁵ Individ t

¹³At ny teknologi samtidig gør arbejderen mere effektiv i udførelsen af selve arbejdet, afspejles i lønnen; den samlede effekt på indkomsten af teknologisk fremgang kan derfor meget vel være positiv.

¹⁴At den relative snarere end den faktiske ændring i det teknologiske niveau eroderer humankapitalen, skyldes modelmæssig bekvemmelighed. Der vil aldrig være tale om et ophør af teknologisk fremgang – blot at fremskridtsraten under visse omstændigheder asymptotiske nærmer sig nul; i relation til det teknologiske niveau bagatelliseres da fremkomsten af ny teknologi, der derfor ikke regnes som en devaluerende faktor på humankapitalen.

¹⁵Andet argument kan enten skyldes altruisme, være en følge af en ikke ekspliciteret aldersfor-

repræsenteres ved nyttefunktionen

$$u_t = (c_{t+1})^\omega (w_{t+1} h_{t+1} n_t)^{1-\omega}, \quad (3.10)$$

hvor $\omega \in (0; 1)$; nyttefunktionen er altså strengt konkav i begge argumenter.

Individet er underlagt en tidsrestriktion, der siger, at arbejds- og opfostringstiden tilsammen ikke må overstige den tildelte tidsenhed. Individ t 's problem er herefter at maksimere u_t mht. b_t og e_{t+1} , givet $(b_t, e_{t+1}) \geq 0$.¹⁶ Individet skal altså vælge det antal børn, med tilhørende uddannelsesniveau, der maksimerer nytten. Løsningen til nyttemaksimeringsproblemet fortæller, at opfostringstiden i optimum er konstant og udgør andelen $1 - \omega$ af den tildelte tidsenhed, dvs.

$$b_t (\tau^b + \tau^e e_{t+1}) = 1 - \omega. \quad (3.11)$$

Den konstante opfostringstid betyder, at valget af uddannelsesniveau samtidig fastlægger det optimale antal børn – eller omvendt, om man vil.

Det viser sig, at det optimale uddannelsesniveau afhænger af, hvor hurtigt ny teknologi oprinder. Før vi kan udtale os om fertiliteten, må vi derfor undersøge, hvordan teknologisk fremgang påvirker uddannelsesniveauet. Til dette formål defineres funktionen N , hvorm gælder, at

$$N(e_{t+1}, g_t) \equiv (\tau^b + \tau^e e_{t+1}) \eta_e - \tau^e \eta(e_{t+1}, g_t) \begin{cases} = 0, & \text{hvis } e_{t+1} > 0 \\ \leq 0, & \text{hvis } e_{t+1} = 0. \end{cases} \quad (3.12)$$

N -funktionen udtrykker den mer-nytte, individ t opnår ved at øge afkommets uddannelsesniveau i optimum.¹⁷ Der er implicit to modsatrettede effekter af at udruste afkommet med et højere uddannelsesniveau: På den ene side vil mere uddannelse øge afkommets humankapital og derfor dets indkomspotentiale – dette øger individ t 's nytte. På den anden side mindskes individ t 's arbejdstid, fordi opfostringstiden stiger – dette reducerer individ t 's forbrug og nedbringer således nytten.

sikring eller have med prestige at gøre. At der er tale om potentiel frem for faktisk indkomst, skyldes blot, at afkommet gives mulighed for selv at træffe valg om fertilitet og uddannelse af *sit* afkom; ændringer på dette punkt får næppe indflydelse på modellens kvalitative resultater.

¹⁶Fertilitetsvalget antages ikke at være bundet af heltalsrestriktioner.

¹⁷Ligning (3.12) er en omskrivning af det udtryk, man opnår ved differentiation af nyttefunktionen med hensyn til uddannelsesniveauet.

Via (3.9) kan man regne ud, at $N_e < 0$: et højere uddannelsesniveau reducerer mer-nytten af en ekstra enhed uddannelse. Samtidig fås, at $N_g > 0$: en højere teknologisk fremskridtsrate øger mer-nytten af mere uddannelse. Konklusionen må derfor være, at hurtigere teknologisk fremgang i optimum er årsag til et højere uddannelsesniveau. Antag i forlængelse heraf, at

$$N(0, 0) = \tau^b \eta_e(0, 0) - \tau^e < 0. \quad (\text{A2})$$

Antagelse (A2) indebærer, at den teknologiske fremskridtsrate skal overstige et vist niveau, førend det betaler sig at uddanne afkommet. Under (A2) findes derfor en positiv teknologisk fremskridtsrate, $\hat{g} > 0$, sådan, at der om det optimale uddannelsesniveau gælder, at

$$e_{t+1} = e(g_t) \begin{cases} = 0, & \text{hvis } g_t \leq \hat{g} \\ > 0, & \text{hvis } g_t > \hat{g}, \end{cases}$$

hvor $e_g > 0$, hvis $g_t > \hat{g}$. Dette skal forstås som følger. Ved tilstrækkelig svag teknologisk fremgang ville et negativt uddannelsesniveau have været optimalt. Dette er ikke muligt, og uddannelsesniveauet er derfor uafhængigt af fremskridtsraten og lig nul, så længe $g_t \leq \hat{g}$. Først når fremskridtsraten overskrider tærsklen \hat{g} , betaler det sig at uddanne afkommet.¹⁸ Samtidig tilegnes barnet en stadig længere uddannelse, jo hurtigere teknologisk fremgang økonomien oplever.

Fertilitet og befolkningsvækst Teknologisk fremgang påvirker altså individets beslutning om afkommets uddannelsesniveau. Samtidig influerer uddannelsesniveauet på antallet af børn: ifølge (3.11) er fertiliteten negativt korreleret med uddannelsesvalget. Under (A2) er fertiliteten derfor en aftagende funktion af den teknologiske fremskridtsrate, hvis denne overstiger \hat{g} . Udtrykt symbolsk er $b_t = b(g_t)$, hvor $b_g < 0$, hvis $g_t > \hat{g}$.

Vi ser altså, at tilstrækkelig hurtig teknologisk fremgang nedbringer fertiliteten. Ny teknologi appellerer nemlig til uddannelse af afkommet, når $g_t > \hat{g}$. Uddannelsestiden indgår i opfostringstiden, der er fastlagt på forhånd. Derfor må et højere uddannelsesniveau pr. barn ske på bekostning af antallet af børn. Og jo hurtigere ny viden kommer

¹⁸Antagelse (A2) siger, at $N(0, 0) < 0$. Da $N_e < 0$, øger individ t derfor nytten, hvis uddannelsesniveauet sænkes. Men da uddannelsesniveauet skal være ikke-negativt, er $e_{t+1} = 0$ således bedste løsning til nyttemaksimeringsproblemet; der er her tale om en randløsning. Da $N_g > 0$, må der findes en entydig teknologisk fremskridtsrate, $\hat{g} > 0$, så $N(\hat{g}, 0) = 0$; også med denne fremskridtsrate er bedste løsning $e_{t+1} = 0$. Men hvis $g_t > \hat{g}$, og da $N_e < 0$, må ethvert $g_t > \hat{g}$ implicere et $e_{t+1} > 0$ i optimum.

til, desto færre børn kommer til verden. Svag teknologisk fremgang lader imidlertid fertiliteten uberørt; når $g_t \leq \hat{g}$, lønner det sig ikke at uddanne afkommet.

Hvad bestemmer befolkningstilvæksten? Vi ved, at fertiliteten påvirkes af den teknologiske fremskridtsrate. Vi ved, at dødeligheden påvirkes af levestoden. Endelig ved vi fra (3.7), at fertilitet og dødelighed tilsammen bestemmer antallet af overlevende børn. Under (A2) er antallet af overlevende børn derfor en voksende funktion af levestoden og en aftagende funktion af den teknologiske fremskridtsrate, hvis denne overstiger \hat{g} . Udtrykt symbolsk er altså $n_t = n(g_t, y_t)$, hvor $n_y > 0$, hvis $y_t > 0$ og hvor $n_g < 0$, hvis $g_t > \hat{g}$.

Resultatet er, at en højere levestod øger antallet af overlevende børn. Dette skyldes levestodens indvirken på dødeligheden, der falder, når levestoden stiger. Samtidig vil en teknologisk fremskridtsrate, der overstiger \hat{g} , reducere antallet af overlevende børn. Forklaringen er, at fertiliteten falder, fordi uddannelsesniveaet stiger, når teknologisk fremgang sker tilstrækkelig hurtigt.

Når teknologisk fremgang ikke udløser uddannelse, er fertiliteten på sit højeste inden for den afsatte opfostringstid. Antag nu, at

$$1 - \omega > \tau^b (1 + \hat{g})^{(\delta^h - \beta)/(1 - \beta)}. \quad (\text{A3})$$

Antagelse (A3) garanterer implicit, at der altid fødes mere end ét barn, når fertiliteten er på sit højeste.¹⁹ Under denne antagelse, samt (A1) og (A2), findes der en entydig levestod, $\tilde{y} > 0$, kaldet 'eksistensminimum', ved hvilken

$$n_t = n(g_t, y_t) \begin{cases} < 1, & \text{hvis } y_t < \tilde{y} \\ = 1, & \text{hvis } y_t = \tilde{y} \\ > 1, & \text{hvis } y_t > \tilde{y} \end{cases}, \text{ for } g_t \leq \hat{g} \text{ og } y_t > 0. \quad (3.13)$$

Så længe fertiliteten er maksimal, dvs. så længe ingen uddannes, er \tilde{y} den levestod, der netop skal til for at opretholde en konstant befolkning. Er levestoden under eksistensminimum, aftager befolkningen – og vice versa.

Da arbejdsstyrkens L_t medlemmer hver får n_t overlevende børn, kan arbejdsstyrkens størrelse på tidspunkt $t + 1$ skrives som

$$L_{t+1} = n(g_t, y_t) L_t. \quad (3.14)$$

¹⁹Den samlede fertilitet i den agrare økonomi i f.eks. Danmark er omkring 2,25 levendefødte børn pr. individ (Matthissen, 1994, s. 26); man skulle derfor let kunne overbevise sig om, at denne implikation af (A3) ikke er urimelig. Antagelsen er dog lidt mere restriktiv, idet den kræver, at der fødes mere end $(1 + \hat{g})^{(\delta - \beta)/(1 - \beta)}$ børn pr. individ.

Vi har nu kortlagt fertilitet, dødelighed og befolkningsvækst og er herpå parate til at beskrive modellens dynamik.

3.3. Dynamik og stabilitet

For at skildre det økonomiske og demografiske udviklingsforløb søges en balanceret ligevægtssti. På en sådan sti vokser alle variable med en konstant rate, der muligvis er nul. Levefoden og den teknologiske fremskridtsrate bestemmer udviklingen i samtlige variable. Derfor søges en ligevægtssti, hvorpå levefoden og fremskridtsraten begge er konstante over tid.

Ved at anvende (3.4) og (3.14) kan udviklingen i den teknologiske fremskridtsrate udtrykkes som en ikke-lineær 1. ordens differensligning, hvor

$$g_{t+1} = \frac{n(g_t, y_t)^\psi}{(1 + g_t)^{1-\theta}} g_t \equiv \phi(g_t, y_t) g_t. \quad (3.15)$$

Det fremgår, at $\phi_g < 0$: En højere fremskridtsrate øger det teknologiske niveau, hvilket alt andet lige reducerer den relative tilgang af ny viden. Hvis samtidig fremskridtsraten overskrider \hat{g} , vil en højere fremskridtsrate nedbringe fertiliteten og dermed befolkningsvæksten; da fremskridtsraten er en voksende funktion af befolkningen, aftager således den hast, hvormed ny teknologi oprinder. Endvidere er $\phi_y > 0$: en højere levefod sænker dødeligheden, øger befolkningsvæksten og dermed fremskridtsraten.

Ved hjælp af (3.3), (3.8) og (3.14) kan også udviklingen over tid i levefoden skrives som en ikke-lineær 1. ordens differensligning, hvor

$$y_{t+1} = \frac{(1 + g_t)^\delta \eta(e(g_t), g_t)^\beta}{n(g_t, y_t)^{1-\beta}} y_t \equiv \xi(g_t, y_t) y_t. \quad (3.16)$$

En højere fremskridtsrate har tre effekter på udviklingen i levefod: 1) teknologien vokser, 2) fertiliteten falder og 3) humankapitalen influeres. De to første effekter har tendens til at øge levefoden, dels fordi det teknologiske niveau stiger, dels fordi befolkningen reduceres; den anden effekt indtræffer dog kun, såfremt $g_t > \hat{g}$. Den tredje effekt opstår, fordi teknologisk fremgang på den ene side eroderer humankapitalen, men på den anden side inciterer til uddannelse af afkommet. Nettoeffekten af teknologisk fremgang på humankapitalen er derfor tvetydig, når $g_t > \hat{g}$. Skønt ny teknologi entydigt forringer værdien af humankapital, når $g_t \leq \hat{g}$, er den samlede effekt af en højere fremskridtsrate på ξ -funktionen positiv (dette er vist i Weisdorf (2000) med en η -funktion, der opfylder

(3.9)). Desuden er $\xi_y < 0$: en højere levelfod sænker dødeligheden, øger befolkningen og reducerer derfor levelfoden.

I næste afsnit illustreres økonomiens dynamik i et (y_t, g_t) -diagram. Med henblik herpå karakteriseres nu de kombinationer af fremskridtsrate og levelfod, der i sig selv sikrer, at henholdsvis fremskridtsraten og levelfoden er konstant over tid.

Definér mængden $TT \equiv \{(g_t, y_t) : \phi(g_t, y_t) = 1\}$. Denne mængde udgør de (g_t, y_t) -par, for hvilke fremskridtsraten er konstant over tid. Hvad kendetegner mængden? Det indses af (3.13) og (3.15), at $(0, \tilde{y}) \in TT$. Og da $\phi_g < 0$ og $\phi_y > 0$, må en højere levelfod ledsages af en højere fremskridtsrate, hvis økonomien skal forblive i TT -mængden. Når levelfoden nærmer sig uendelig, svarer fertiliteten til antallet af overlevende børn. Da fertiliteten da kun afhænger af fremskridtsraten, findes en entydig, positiv fremskridtsrate, hvorved teknologien udvikler sig med konstant hast. Kald denne rate \bar{g} , så $\lim_{y_t \rightarrow \infty} (\bar{g}, y_t) \in TT$, hvor $\bar{g} > 0$.

Betegn ligeledes mængden $YY \equiv \{(g_t, y_t) : \xi(g_t, y_t) = 1\}$. Denne karakteriserer da de (g_t, y_t) -par, for hvilke levelfoden er konstant over tid. Parret $(0, \tilde{y}) \in YY$. Og da $\xi_g > 0$ og $\xi_y < 0$, må en højere levelfod også her akkompagneres af en højere fremskridtsrate, hvis økonomien skal forblive i YY -mængden. Med samme argument som ovenfor findes en entydig, positiv fremskridtsrate, $\underline{g} > 0$, således, at $\lim_{y_t \rightarrow \infty} (\underline{g}, y_t) \in YY$.

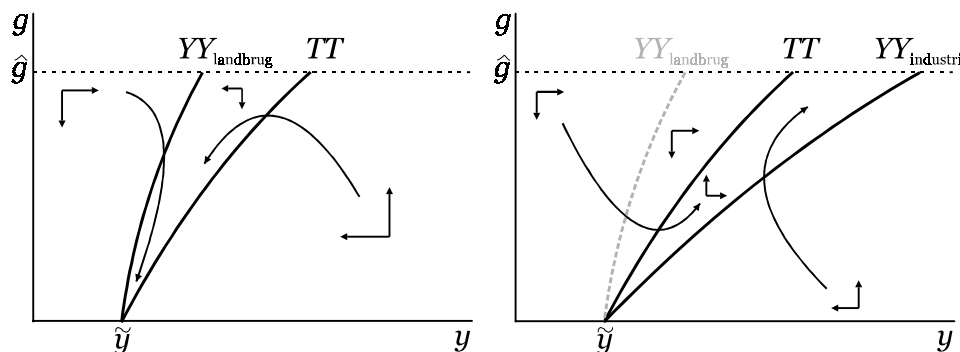
Modellens 'industrialisering' indfinder sig, når det teknologiske niveau passerer tærk-slen \tilde{A} . Er $A_t \leq \tilde{A}$, kendetegnes økonomien derfor ved landbrug, men er omvendt industrialiseret, såfremt $A_t > \tilde{A}$. Qua skiftet i parameteren δ_t fra δ^l til $\delta^h > \delta^l$ forandres outputproduktionens elasticitet med hensyn til teknologi ved \tilde{A} . Betegn nu mængden $YY_{\text{landbrug}} \equiv \{(g_t, y_t) : \xi(g_t, y_t, \delta^l) = 1\}$, der dermed angiver de (g_t, y_t) -par, for hvilke levelfoden er konstant i landbrugsfasen. Analogt betegner $YY_{\text{industri}} \equiv \{(g_t, y_t) : \xi(g_t, y_t, \delta^h) = 1\}$ de (g_t, y_t) -par, for hvilke levelfoden er konstant i den industrielle fase. Begge mængder besidder de egenskaber ved YY -mængden, der blev beskrevet ovenfor.²⁰

4. Analyse af udviklingsforløbet

TT - og YY -mængderne anvendes nu til en grafisk fremstilling af modellens dynamik. Ved hjælp heraf skildres skridt for skridt de faser, økonomien vil gennemgå.

²⁰Bemærk, at størrelsen \underline{g} varierer, alt afhængigt af, om økonomien kendetegnes ved landbrug eller industri; antagelse (A1) implicerer nemlig, at $\underline{g} > \bar{g} > \hat{g}$, så længe $A_t \leq \tilde{A}$, mens $\bar{g} > \underline{g} > \hat{g}$, når $A_t > \tilde{A}$.

Figure 4.1: Den 'malthusianske' (tv.) og den 'post-malthusianske' fase (th.)



Den 'malthusianske' landbrugsfase Antag, at økonomien i begyndelsessituationen kendetegnes ved en positiv teknologisk fremskridtsrate under tærskelværdien. Der er altså tale om beskeden teknologisk fremgang. Denne fremgang påvirker økonomien på to måder. For det første eroderes mængden af individuel humankapital for den kommende generation. Med fremskridtsraten under tærskelværdien anses erosionen som ubetydelig; uddannelse lønner sig derfor ikke, og der avles således mange børn uden uddannelse. For det andet er ny teknologi isoleret set årsag til, at levefoden vokser. Højere levefod leder til et fald i dødeligheden, der kombineret med en høj fertilitet betyder, at befolkningen vokser. Teknologisk fremgang fører altså indirekte til befolkningsvækst i denne fase.

Omvendt er befolkningsvækst årsag til teknologisk fremgang, fordi flere individer skaber flere nye idéer. Men i landbrugsfasen er ny viden ikke effektiv nok til at modvirke nedgangen i arbejdskraftens grænseproduktivitet, der opstår som følge af den voksende befolkning. Befolkningsvæksten 'spiser' med andre ord levefodsforbedringen op. Dermed nedbringes dødeligheden, hvorved befolkningen holdes i skak og levefoden nær eksistensminimum.

I landbrugsfasen nærmer økonomien sig derfor asymptotisk en 'malthusiansk' stationærtilstand, hvor den teknologiske fremskridtsrate er nul, og hvor befolkningen lever på en eksistensiel grænse. Økonomien befinder sig i omegnen af denne tilstand, fordi fremskridtsraten kun asymptotisk nærmer sig nul. Skønt der forekommer (om end svag) teknologisk fremgang, finder ingen uddannelse sted; fertiliteten er derfor på sit højeste inden for den afsatte opfostringstid. Men trods høje fødselsrater holdes befolkningen alligevel (stort set) i skak af høje dødsrater.

Positive, teknologiske chok afbryder midlertidigt økonomiens bevægelse i retning af den malthusianske stagnationstilstand.²¹ For en stund hæves levefoden, med yderligere befolkningsvækst til følge. Men stagnationstilstanden er en entydig, stabil, kvasi-stationær steady state i den agrare økonomi.²² Karakteristisk for landbrugsfasen er derfor – som Malthus netop skildrede –, at teknologisk fremgang er årsag til en større befolkning snarere end en højere levefod. Figur 4.1 illustrerer dynamikken i denne fase.²³

Den 'post-malthusianske' industrialiseringsfase I tilknytning til de strukturelle og institutionelle forandringer, der forekommer forud for den industrielle revolution, reformeres teknologiens produktivitet. Med ét forstår økonomien at gøre bedre brug af den tilstedeværende teknologi. Skiftet betyder, at levefoden – for en given teknologisk fremgang – nu vokser procentvis mere end i landbrugsfasen. Det heraf affødte fald i dødeligheden implicerer, at befolkningen alt andet lige vokser hurtigere end før. En voksende befolkningen understøtter fortsat teknologisk fremgang, men i denne fase *mere* end den svækker stigningen i levefod. Derved opstår en vækstspiral, hvor teknologiens fremskridtsrate og levefoden er for opadgående, alt imens dødeligheden systematisk aftager.

Efter i tusinder af år at have befundet sig i omegnen af den malthusianske stagnationstilstand, bevæger økonomien sig nu bort herfra.²⁴ Figur 4.1 illustrerer dynamikken i den 'post-malthusianske' fase: industrialiseringen er så småt begyndt, men uddannelse er endnu ikke lønsomt.²⁵

Det økonomiske og demografiske mønster harmonerer også i denne periode fint med

²¹Sådanne chok kan indbygges ved at tilføje ligning (3.4) et led med en ikke-negativ skiftparameter μ_t , der repræsenterer tilfældige chok til den teknologiske fremskridtsrate. Dette er gjort i Weisdorf (2000), men er unødvendigt i den udstrækning, at økonomien antages at starte uden for den malthusianske stagnationstilstand.

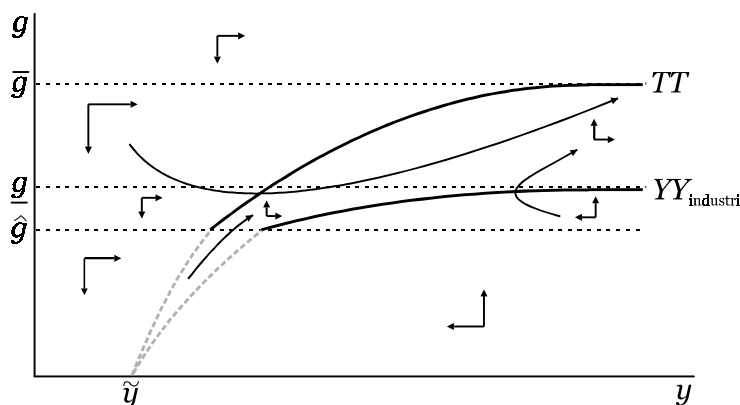
²²Når tilstanden betegnes 'kvasi-stationær', skyldes det, at befolkning og teknologi, for hver gang økonomien nærmer tilstanden sig efter et teknologisk chok, er større end tidligere.

²³Antagelse (A1) sikrer implicit, at YY_{landbrug} -kurven placerer sig til venstre for TT -kurven i (y_t, g_t) -planen, så længe det teknologiske niveau befinder sig under \tilde{A} . Bemærk, at TT - såvel som YY -mængderne er fremstillet som strengt konkave kurver; dette er ikke nødvendigvis tilfældet; kurverne kan f.eks. antage S -form i stedet, hvilket dog er uden betydning for modellens kvalitative resultater.

²⁴Da fremskridtsraten kun asymptotisk nærme sig nul i landbrugsfasen, befinder økonomien sig derfor aldrig i den malthusianske stagnationstilstand; økonomien kan således uden videre bevæge sig bort herfra, efter at de strukturelle og institutionelle forandringer er iværksat.

²⁵Det er (A1), der sikrer, at YY -kurven, fra at have befundet sig til venstre for TT -kurven i den agrare økonomi, i den industrielle økonomi befinder sig til højre herfor.

Figure 4.2: Fasen med 'moderne vækst'



empirien: Dødeligheden aftager til stadighed, men så længe fremskridtsraten er moderat, bevarer fertiliteten samme høje niveau som tidligere (sml. figur 2.2). Befolkningen vokser derfor med tiltagende hast (sml. figur 2.1). Da en større befolkning skaber flere nye idéer pr. tid, øges den teknologiske fremskridtsrate. Og fordi teknologisk fremgang nu overvinder inputfaktorernes aftagende grænseproduktivitet, vokser levestandarden ligeledes med stigende hast (sml. figur 2.1).

Overgangen til fasen med 'moderne vækst' Den post-malthusianske fase er en overgangsfase, økonomien med tiden bevæger sig ud af. Før eller siden når fremskridtsraten et niveau, hvorved uddannelse lønner sig. Herefter prioriteres *færre børn med* uddannelse frem for *mange børn uden*. Den fertile revolution er indledt, og økonomien indtræder nu i fasen med 'moderne vækst'.

Jo hurtigere ny teknologi kommer til, desto længere bliver uddannelsestiden, og desto færre børn bringer hvert individ til verden. Men færre fødsler afdæmper stigningen i befolkningsvæksten. Dermed dæmpes også stigningen i den hast, hvormed ny viden opstår. Økonomien konvergerer nu mod en 'moderne vækst' steady state, hvor positiv befolkningsvækst opretholder en positiv teknologisk fremskridtsrate. På den ene side holder teknologisk fremgang uddannelsesniveaet oppe og dermed fertiliteten i ave. På den anden side skaber teknologisk fremgang vedvarende vækst i levestandarden. At økonomien nærmer sig en bane, der rummer disse egenskaber, antydes i figur 4.2.²⁶

²⁶ At YY - og TT -kurven knækker ved \hat{g} skyldes fremskridtsratens indflydelse på uddannelse og fertilitet, når $g_t > \hat{g}$.

Den 'moderne vækst' steady state er stabil. Hvis chok får befolkningsvækstraten til pludselig at aftage, falder også den teknologiske fremskridtsrate. Da mindskes uddannelsesbehovet, og fertiliteten øges. Følgelig vokser befolkningen igen – og fremskridtsraten ligeså –, indtil systemet er tilbage i den angivne steady state. Tilsvarende ved et pludseligt, positivt chok til den teknologiske fremskridtsrate: Straks forlænges uddannelsestiden, fertiliteten aftager, og befolkningsvæksten nedbringes. Men da falder fremskridtsraten igen, uddannelsesniveauet sænkes, og fertiliteten returnerer til sit tidligere niveau. Således er systemet atter tilbage i den moderne steady state.

5. Konkluderende bemærkninger

Denne artikel opstiller en *OLG*-model med endogen teknologi, human-kapital, uddannelsesvalg, fertilitet og dødelighed. Modellen kombinerer en idé-baseret teori om teknologisk fremgang fra Jones (1995) med en variation af mikrofundamentet fra Galor & Weil (2000), der udbygges med en endogen dødsrisiko. Fremstillingen sigter mod at afdække det økonomiske og demografiske udviklingsforløb for en moderne, vestlig økonomi, helt tilbage fra civilisationens start, den agrare revolution, for godt 10.000 år siden.

Modellen forudsiger to steady states. Den ene er en primitiv 'malthusiansk' steady state, hvor teknologien stagnerer, hvor ingen uddannelse forekommer, og hvor levefoden befinder sig på eksistensminimum. Økonomien opholder sig i omegnen af denne stagnationstilstand, alt imens svag teknologisk fremgang understøtter en beskeden befolkningsvækst. Først da strukturelle og institutionelle forandringer giver anledningen til en bedre udnyttelse af den tilstedeværende teknologi, kan økonomien undslippe dette årtusinder gamle mønster. Den deraf følgende industrialiseringsproces er indirekte årsag til en demografisk transition, hvor først dødeligheden og siden fertiliteten aftager. Hermed banes vejen for en ny 'moderne vækst' steady state, hvor positiv befolkningvækst opretholder en positiv teknologisk fremskridtsrate. På den ene side holder teknologisk fremgang uddannelsesniveauet oppe og fertiliteten nede, på den anden side skaber teknologisk fremgang vedvarende vækst i levefoden.

I den moderne steady state er befolkningens vækstrate større end på noget andet tidspunkt i historien. Figur 2.1 afslører, at dette er i strid med fakta: i virkeligheden aftager vækstraten efter 1870. I modellen bremser et faldende fødselstal ganske vist be-

folkningstilvæksten. Men herved standses blot *stigningen* i vækstraten. Hvis den fertile revolution blev tilladt til fulde at opbremse befolkningsvæksten, ville også fremskridtsraten aftage. Men da sænkes uddannelsestiden, og fertiliteten vokser på ny, jævnfør den 'moderne' steady states stabilitetsegenskaber. I modellen er befolkningsvækst derfor en forudsætning for vedvarende vækst i levefoden.

En modelforbedring består således i at lade akkumulation af humankapital erstatte befolkningsvækst som drivkraft bag teknologisk fremgang. Dette kræver to forandringer: Dels skal økonomiens humankapital, snarere end arbejdsstyrken, indgå som argument i forbindelse med fremkomsten af ny viden. Dels skal mængden af individuel humankapital entydigt vokse, så snart fremskridtsraten, og derfor uddannelsesniveauet, når en størrelse, hvorved befolkningsvæksten begynder at aftage. Da fremkommer en 'moderne' steady state, hvor befolkningen, mere i lighed med fakta, stagnerer, og hvor mængden af individuel humankapital vokser til stadighed.

References

- [1] ANDERSEN, OTTO (1977), 'The Population of Denmark', *World Population Year 1974*, CICRED 1977, København
- [2] AZARIADIS, COSTAS & ALLAN DRAZEN (1990), 'Threshold Externalities in Economic Development', *Quarterly Journal of Economics*, 105:2, p. 501-26
- [3] BOS, EDUARD *et al.* (1999), *Health, Nutrition, and Population Indicators*, The World Bank, Washington, D.C.
- [4] COALE, ANSLEY J. (1987), fra *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, redigeret af John Eatwell, Murray Milgate og Peter Newman, MacMillian, London, p. 793-96
- [5] CRAFTS, NICHOLAS F.R. (1996), 'The First Industrial Revolution: A Guided Tour for Growth Economists', under overskriften *New Growth Theory and Economic History: Match or Mismatch* i *American Economic Review*, 86:2, p. 197-201
- [6] CRAIG, L.A. & D. FISHER (2000), *The European Macroeconomic: Growth, Integration and Cycles 1500-1913*, Edward Elgar, Cheltenham
- [7] DUDLEY, KIRK (1996), 'Demographic Transition Theory', *Population Studies*, 50, p. 361-87
- [8] EASTERLIN, RICHARD A. (1995), 'Industrial Revolution and Mortality Revolution: Two of a Kind?', *Journal of Evolutionary Economics*, 5:4, p. 393-408
- [9] GALOR, ODED & DAVID N. WEIL (2000), 'Population, Technology, and Growth: From Malthusian Stagnation to the Demographic Transition and Beyond', *American Economic Review* (*undervejs*)
- [10] GOODFRIEND, MARVIN & JOHN MCDERMOTT (1995), 'Early Development', *American Economic Review*, 85:1, p. 116-133
- [11] HANSEN, S.A. (1984), *Økonomisk vækst i Danmark*, Akademisk forlag, København
- [12] JENSEN, PETER K.A. (1996), *Menneskets oprindelse og udvikling*, G.E.C. Gads Forlag, København

- [13] JONES, CHARLES I. (1995), 'R&D-Based Models of Economic Growth', *Journal of Political Economy*, 103:4, p. 759-84
- [14] JONES, CHARLES I. (2000), 'Was an Industrial Revolution Inevitable? Economic Growth Over the Very Long Run', *Stanford University* (marts 2000)
- [15] KALEMLI-OZCAN, SEBNEM, HARL E. RYDER & DAVID N. WEIL (1998), 'Mortality Decline, Human Capital Investment, and Economic Growth', *Brown University* (september 1998)
- [16] LUCAS, ROBERT E. (1998), 'The Industrial Revolution: Past and Future', *mimeo*, *University of Chicago*
- [17] MADDISON, ANGUS (1982), *Phases of Capitalist Development*, Oxford University Press, New York
- [18] MADDISON, ANGUS (1995), *Monitoring the World Economy, 1820-1992*, OECD, Paris
- [19] MALTHUS, THOMAS R. (1798), *An Essay on the Principle of Population*, Oxford University Press, Oxford
- [20] MATTHIESSEN, POUL C. (1994), *Befolkning og samfund*, Handelshøjskolens Forlag, København
- [21] MITCHELL, B.R. (1992), *International Historical Statistics, Europa 1750-1988* (3. udgave), Stockton Press, New York
- [22] TAMURA, ROBERT (1999), 'Human Capital and the Switch From Agriculture to Industry', *Clemson University* (juni 1999)
- [23] WEISDORF, JACOB L. (2000), 'Overlappende generationer og humankapital: Fra malthusiansk stagnation til moderne vækst', *Speciale (A-389)*, *Københavns Universitet* (marts 2000)